

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-069653

(43)Date of publication of application : 08.03.2002

(51)Int.Cl.

C23C 16/505  
H01L 21/205  
H01L 31/04

(21)Application number : 2000-267554

(71)Applicant : ANELVA CORP  
NATIONAL INSTITUTE OF  
ADVANCED INDUSTRIAL &  
TECHNOLOGY  
MATSUDA AKIHISA  
KONDO MICHIO

(22)Date of filing : 04.09.2000

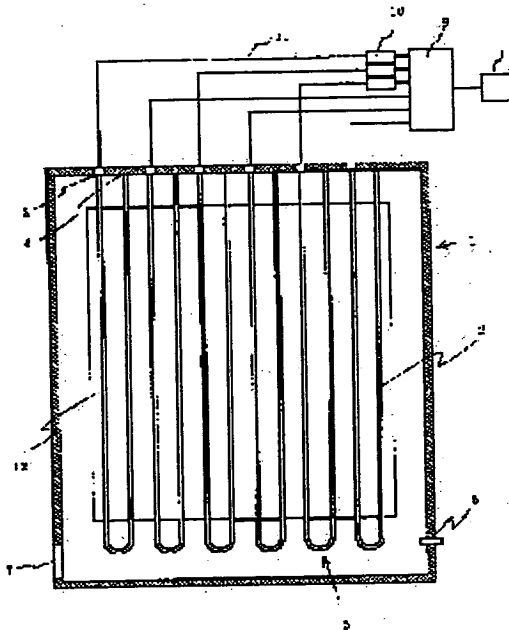
(72)Inventor : ITO NORIKAZU  
WATABE YOSHI  
MATSUDA AKIHISA  
KONDO MICHIO

## (54) THIN FILM FORMING METHOD, THIN FILM FORMING APPARATUS AND SOLAR CELL

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method and an apparatus for forming a thin film, which form a thin film of superior film thickness uniformity on a large substrate and furthermore makes throughput high, and to provide a solar cell with a superior characteristic, and moreover, at a low cost.

SOLUTION: The apparatus comprising a film forming chamber, inside of which several inductive coupling type electrode with shape of being folded over at the center and having a feeding part of high-frequency power and a grounding part at the each end of themselves, are arranged in parallel in the same plane, a high-frequency power source for supplying high-frequency power to the above feeding part, a means for controlling phase of the high-frequency power supplied to the above feeding part, and a waveform generator for modulating amplitude of the high-frequency power, is characterized by the configuration in which the high-frequency power has opposite phases opposite to each other at the adjacent feeding parts of the above several inductive coupling type electrodes, and in which the amplitude-modulated high-frequency power is supplied to the inductive coupling type electrodes and generates plasma, to form thin film on a substrate arranged so as to face the inductive coupling type electrodes.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2002-69653

(P 2002-69653A)

(43) 公開日 平成14年3月8日 (2002. 3. 8)

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

テーマコード\* (参考)

C 2 3 C 16/505

C 2 3 C 16/505

4K030

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/205

5F045

31/04

31/04

V 5F051

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L

(全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2000-267554 (P2000-267554)

(22) 出願日 平成12年9月4日 (2000. 9. 4)

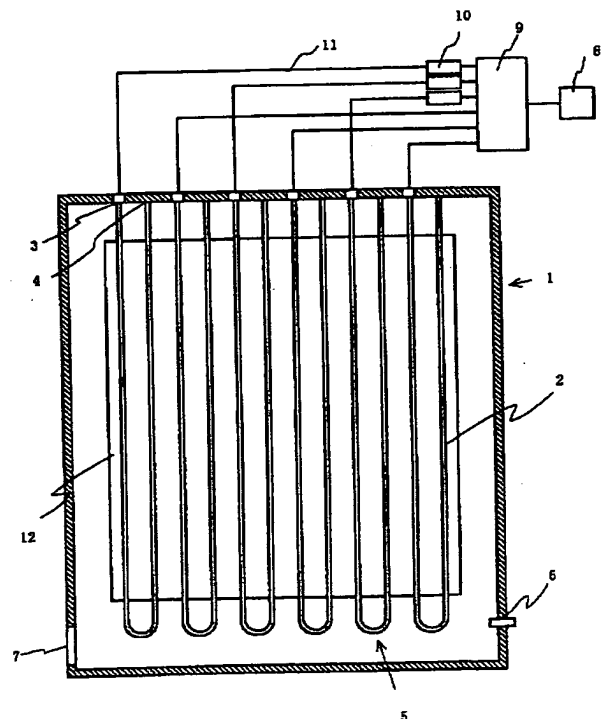
(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願 (平成12年度、新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽光発電システム実用化技術開発委託事業、産業再生法第30条の適用を受けるもの)

(54) 【発明の名称】 薄膜形成方法、薄膜形成装置及び太陽電池

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、大型基板に、膜厚均一性に優れた薄膜を形成でき、更には、高スループット化可能な薄膜形成方法及び装置を提供することを目的とする。また、特性に優れしかも低コストの太陽電池を提供することを目的とする。

【解決手段】 内部に、中央で折り返した形状を有しその両端部に高周波電力の給電部と接地部とを設けた誘導結合型電極を同一平面内に複数個平行に配置した成膜室と、前記給電部に高周波電力を供給する高周波電源と、前記給電部に供給される高周波電力の位相を制御する手段と、高周波電力のAM変調を行う波形発生器と、からなり、前記複数の誘導結合型電極の隣り合う給電部での高周波の位相を互いに逆位相とし、かつAM変調した高周波電力を前記誘導結合型電極に供給してプラズマを発生させ、前記誘導結合型電極に面して配置された基板上に薄膜を形成する構成としたことを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 中央で折り返した形状を有しその両端部に高周波電力の給電部と接地部とを設けた誘導結合型電極を同一平面内に複数個平行に設置し、前記複数の誘導結合型電極に高周波電力を供給してプラズマを発生させ、前記誘導結合型電極に面して配置された基板上に薄膜を形成する薄膜形成方法において、前記給電部に供給する高周波電力の位相を隣り合う給電部で互いに逆位相とし、かつ AM 変調することを特徴とする薄膜形成方法。

【請求項 2】 前記誘導結合型電極の給電部と折り返し部との間で、定在波が立つように、高周波の周波数を变化させることを特徴とする請求項 1 に記載の薄膜形成方法。

【請求項 3】 前記 AM 変調は、高周波電力を投入する期間と高周波電力を遮断する期間とを交互に設けることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の薄膜形成方法。

【請求項 4】 薄膜形成中に、前記 AM 変調の変調周波数を変化させることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の薄膜形成方法。

【請求項 5】 薄膜形成中に、前記高周波電力を投入する期間の割合を変化させることを特徴とする請求項 3 に記載の薄膜形成方法。

【請求項 6】 内部に、中央で折り返した形状を有しその両端部に高周波電力の給電部と接地部とを設けた誘導結合型電極を同一平面内に複数個平行に配置した成膜室と、前記給電部に高周波電力を供給する高周波電源と、前記給電部に供給される高周波の位相を制御する手段と、高周波電力の AM 変調を行う波形発生器と、からなり、前記複数の誘導結合型電極の隣り合う給電部での高周波の位相を互いに逆位相としかつ AM 変調した高周波電力を前記誘導結合型電極に供給してプラズマを発生させ、前記誘導結合型電極に面して配置された基板上に薄膜を形成する構成としたことを特徴とする薄膜形成装置。

【請求項 7】 前記誘導結合型電極の給電部と折り返し部との距離は、前記高周波の励振波長の  $1/2$  の自然数倍であることを特徴とする請求項 6 に記載の薄膜形成装置。

【請求項 8】 前記誘導結合型電極を複数の層に配置し、各層の両側に基板を配置し、同時に複数の基板上に薄膜を形成する構成としたことを特徴とする請求項 6 又は 7 に記載の薄膜形成装置。

【請求項 9】 請求項 1～5 のいずれか 1 項に記載の薄膜形成方法により形成した薄膜を構成膜とする太陽電池。

【請求項 10】 請求項 6～8 のいずれか 1 項に記載の薄膜形成装置に、反応性ガスを導入し、プラズマを発生させて、前記反応性ガスの構成元素を少なくとも 1 つを含む薄膜を形成し、該薄膜を構成膜とすることを特徴と

する太陽電池。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、薄膜形成方法、薄膜形成装置及び太陽電池に係り、特に、大面積基板に膜厚均一性に優れた a-Si 等の薄膜を形成する薄膜形成方法及び装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】太陽電池はクリーンなエネルギー源として注目され期待されているが、その普及を図るためにはコストダウンが不可欠であり、そのために大型基板に均一膜厚の a-Si 膜を高いスループットで形成できる薄膜形成装置が強く望まれている。a-Si のような薄膜の形成には、平行平板型（容量結合型）のプラズマ CVD 装置が実用化されているが、通常 1 枚の基板しか処理できないためスループットが低く、その一方、複数基板を同時処理しようとする装置が極めて大型化してしまうという問題がある。また、基板の大型化とともに形成される薄膜の膜厚均一性が著しく低下してしまい、所望の特性の太陽電池が得られなくなるという問題がある。

【0003】膜厚均一性の高い薄膜作製を行うには、基板全体で均一密度のプラズマを形成する必要があるが、このために様々な検討がなされてきた。しかし、平行平板型電極方式では、基板が大型化すると均一密度のプラズマを形成するのは容易でなく、その理由として、次のような原理上の問題が挙げられている。すなわち、平行平板型電極では、均一密度のプラズマを形成するには、基板全体にわたり 2 つの電極間距離を精度良く維持して配置する必要があるが、これは容易でなく、基板が大型化すると一層困難となる。また、容量結合型では、高周波を投入する電極と接地電位にある対向電極及び成膜室壁との間の放電により、電極に自己バイアス電位が発生し、このためプラズマ密度に分布が生じるという問題がある（特開平 7-94421 号公報）。さらには、電極が大きくなると、その表面に定在波が発生してしまい、このためプラズマが分布してしまう場合がある。これは、VHF 帯等の周波数のより高い高周波になると一層顕著になる。そこで、プラズマ維持メカニズムが容量結合型とは全く異なり、上記容量結合型固有の電極間距離精度や電極の自己バイアス等の問題が起こることがなく、しかも高速成膜に有利な VHF 帯の高周波を用いて高いプラズマ密度を発生できる誘導結合型電極を用いたプラズマ CVD 法が提案されている。具体的には、例えば、梯子形状の電極（特開平 4-236781 号公報）や導電性線材をジグザグに多数回折り曲げた電極（特許第 2785442 号公報）等の電極を用いた誘導結合型電極方式のプラズマ CVD 装置が提案されている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし、本発明者らが、上記構造の電極を含め、種々の誘導結合型電極を検

討したところ、例えば、梯子形状やジグザグに折り曲げた誘導結合型電極は、基板の大型化に対応して大きくなると、電流経路が均一となりにくく、また、予期できない場所に部分的に定在波が発生してしまうことが分かり、このため、プラズマ密度を均一にするのは難しく、従来の電極構造で大面積基板に対応するのは困難であることが分かった。また、容量結合型電極の場合は、膜厚均一性を高めるための種々の検討がなされており、例えば、上記自己バイアスに起因するプラズマ密度の分布を解決する方策として、高周波電力を変調し間欠放電させる成膜方法（特開平7-94421号公報）等がある。しかし、誘導結合型と容量結合型とでは、プラズマの維持メカニズムは全く異なるものである。すなわち、容量結合型は、電極からの二次電子放出及びシースの振動によりプラズマが維持されるが、誘導結合型電極の場合、電極から供給される電磁界の振動によるものだからである。従って、容量結合型には効果的な方策であってもそのまま誘導結合型に応用することは無意味であり、従来の検討結果を参考にすることはできない。

【0005】そこで、本発明者らは、誘導結合型電極について、プラズマ均一化の基本的検討を行い、上記従来の誘導結合型電極では、問題となった定在波を逆に利用した電極構造の検討を行った。この電極は、例えば、棒状又はU字型電極の一端に給電部を設け、他端を接地する構造とし、接地部と給電部との距離を高周波の $1/2$ の自然数倍とすることにより、電極上の所定位置に定在波を発生させ、発生するプラズマ密度分布を利用して基板上に均一膜厚の薄膜を形成しようとするものである。

【0006】このような電極構成とすることにより、従来に比べ膜厚均一性を改善することが可能となったが、この新規な電極構成でも、基板が大型化し電極長さが増加すると、電極の給電部側と接地部側とでプラズマ密度が異なり、接地部側に近づくにつれプラズマ密度は低下し、その結果、膜厚が薄くなってしまうという新たな問題が起こることが分かった。これは、高周波が電極先端部に伝搬するまでに減衰して、プラズマ密度が給電側と接地部側とで分布してしまうためと考えられるが、本発明者らは、このような高周波の減衰に起因すると考えられるプラズマ密度分布、さらには膜厚分布を解消し、より大型基板に均一薄膜を形成できる装置構成及び成膜条件を検討した。この中で、上記容量結合型の場合とは、プラズマ維持メカニズムが全く異なるにもかかわらず、高周波電力をAM変調することにより、プラズマの状態が変化し、しかも変調方法によりプラズマ形状が変化し、かつこれらの変化に再現性があることを見出した。さらに、幅広の基板に薄膜を形成するには、上記電極を複数個平行に配置する必要があるが、各電極に供給する高周波電力の位相によって、電極長手方向の膜厚分布も変化することが分かった。本発明者は、これらの発見を基にさらに研究を進展させ、給電方法、変調方法と薄膜

分布の関係を明らかにして本発明を完成したのである。

【0007】すなわち、本発明の目的は、大型基板に、膜厚均一性に優れた薄膜を形成可能な薄膜形成方法及び装置を提供することにある。さらには、特性及び膜厚均一性に優れた薄膜を高いスループットで形成可能な薄膜形成方法及び装置を提供することにある。また、本発明は、太陽電池を以上の薄膜形成方法及び装置を用いて形成し、特性に優れしかも低コストの太陽電池を提供することを目的とする。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の薄膜形成方法は、中央で折り返した形状を有しその両端部に高周波電力の給電部と接地部とを設けた誘導結合型電極を同一平面内に複数個平行に設置し、前記複数の誘導結合型電極に高周波電力を供給してプラズマを発生させ、前記誘導結合型電極に面して配置された基板上に薄膜を形成する薄膜形成方法において、前記給電部に供給する高周波電力の位相を隣り合う給電部で互いに逆位相とし、かつAM変調することを特徴とする。このように誘導結合型電極を複数配置し、隣り合う電極の給電部に供給する高周波の位相を $180$ 度ずらすことにより、基板の幅方向のみならず電極長手方向の膜厚分布が向上し、より大型の基板に均一膜厚の薄膜を形成することが可能となる。さらに、AM変調の条件により、プラズマ密度の分布が所定の変化を示すことから、隣り合う電極を互いに逆位相とし、適切な変調条件を選択することにより、種々の成膜条件においても、プラズマ密度を均一化することができ、膜厚均一性の高い薄膜を形成することが可能となる。なお、本発明において、AM変調とは、パルス変調を含む意味である。また、給電部と折り返し部との間で、定在波が立つように高周波電力の周波数を調節することにより、プラズマを安定して発生・維持することができ、より再現性のある薄膜形成が可能となる。

【0009】前記AM変調は、高周波電力を投入する期間と高周波電力を遮断する期間とを交互に設け、また、薄膜形成中に、前記高周波電力を投入する期間の割合若しくは、前記AM変調の変調周波数を変化させることを特徴とする。高周波の変調をこのように行うことにより、膜厚均一性をより効果的に向上させることができる。

【0010】本発明の薄膜形成装置は、内部に、中央で折り返した形状を有しその両端部に高周波電力の給電部と接地部とを設けた誘導結合型電極を同一平面内に複数個平行に配置した成膜室と、前記給電部に高周波電力を供給する高周波電源と、前記給電部に供給される高周波電力の位相を制御する手段と、高周波電力のAM変調を行う波形発生器と、からなり、前記複数の誘導結合型電極の隣り合う給電部での高周波の位相を互いに逆位相としかつAM変調した高周波電力を前記誘導結合型電極に供給してプラズマを発生させ、前記誘導結合型電極に面

して配置された基板上に薄膜を形成する構成としたことを特徴とする。また、給電部と折り返し部との距離は、前記高周波の励振波長の  $1/2$  の自然数倍とするのが好ましく、プラズマの発生及び維持をより安定させることができ、より再現性のある均一膜厚の薄膜形成が可能となる。

【0011】さらに、前記複数の誘導結合型電極を複数層に配置し、各々の電極層の両側に基板を配置し、同時に複数の基板上に薄膜を形成する構成とするのが好ましい。上記誘導結合型電極を用いることにより、容量結合型の場合とは異なり装置の巨大化を招くことなく、いわゆる多領域成膜方式を採用することができるため、多数の基板上に同時成膜することが可能な装置を構築することができる。その結果、スループットが大幅に向上し、例えば太陽電池の低コスト化に大きく貢献する。

【0012】本発明の太陽電池は、その構成薄膜の少なくとも1つを上記本発明の薄膜形成方法又は薄膜形成装置により形成した薄膜を含むことを特徴とする。上述したように、本発明の薄膜形成装置及び方法により、種々の膜質の薄膜を均一な膜厚で形成することができ、しかも高速、高品質膜条件を選択できるため、高品質を維持しつつ、太陽電池の製造コストを削減することが可能となる。さらに、多領域成膜方式を用いることにより高スループット化が図れ、太陽電池コストの一層の削減を達成することが可能となる。

#### 【0013】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施の形態を説明する。本発明の薄膜形成装置及び方法について、図1に示した薄膜形成装置の一構成例を参照して説明する。図に示すように、薄膜形成装置は、ガス導入口6と排気口7を有する成膜室1に、誘導結合型電極2を複数配置し、各電極の一端の接地部4を成膜室1の壁に連結して接地し、他端の給電部3を同軸ケーブル11を介して高周波電源9に接続する。ここで、隣り合う電極の給電部に逆位相の高周波を供給するために、給電部3と高周波電源9の間にはフェーズシフタ10が配置されている。さらに、高周波電源9には波形発生器8が連結され、電源9から出力される高周波電力に所望のAM変調を加えることができる。

【0014】誘導結合型電極2には、中央で折り返した形状を有する電極が用いられ、その両端部に高周波電力を供給する給電部3とアース電位とする接地部4とが設けられる。中央で折り曲げた形状とは、例えば、U字型やコの字型の形状が例示されるが、これは、1本の棒材折り曲げて一体に形成したものに限定するものではなく、例えば2本の直線状電極を金属板等で接続・固定した構造のものでも良い。給電部3及び接地部4と折り返し部5との距離Lは、高周波電力の励振波長 $\lambda$ の  $n/2$  倍 ( $n$  は自然数) とするのが好ましい。すなわち、給電部3、接地部4、折り返し部5及び励振波長を、 $L = n$

$\cdot \lambda/2$  の関係を満たすように設定することにより、安定して放電を発生・維持することができる。ここで、給電部及び接地部は必ずしも成膜室内に設ける必要はなく、成膜室を貫通して誘導結合型電極を配置し、成膜室外の  $L = n \cdot \lambda/2$  となる位置に給電部及び接地部を設けても良い。また、逆に、高周波電源の発振周波数を可変とし、所定のLの値に対して、上記式を満たすように周波数を変化させても良い。なお、折り返し部とは、例えばU字型の場合、曲率を有する半円状の部分のいい、コの字型の場合は、2本の長手方向直線部の間の短手方向直線部をいう。

【0015】本発明において、複数の誘導結合型電極の隣り合う電極の給電部に互いに逆位相の高周波を供給するための手段として、高周波の位相を制御するフェーズシフタが配設される。フェーズシフタは図1に示す配置の他、後述する図5の場合のように電極本数が多くなる場合には図2の配置が好適に用いられる。図1の配置では、電極本数が多くなるにつれてフェーズシフタの数が増え、また隣り合う電極の位相を制御するために各々のフェーズシフタ全て調整する必要があるが、図2の配置では電極の本数にかかわらず、フェーズシフタは1つでよい。また、システムの簡略化を図ることができる。また、位相の調整もフェーズシフタ1つについて行えばよい。また、フェーズシフタを用いずに、隣り合う電極の給電部の位相を互いに逆位相とすることも可能である。この場合、例えば、複数の電極の一つおきに、給電部と折り返し部の長さを高周波の半波長分長くして給電部を成膜室外に設けるか、又は半波長分の長さに等価な同軸ケーブルを給電部に継ぎ足すようにすればよい。

【0016】なお、本発明の高周波電源としては、20～600MHzのVHF帯の高周波電源が好適に用いられるが、これに限らず、例えば、マイクロ波を用いることもできる。マイクロ波の場合、導波管に同軸ケーブルとの変換コネクタを接続し、同軸ケーブルを給電部に接続すればよい。

【0017】さらに、本発明において、高周波をAM変調するために、波形発生器8が設けられる。即ち、高周波電源9から出力される高周波電力は、波形発生器8によりAM変調され、例えば、図3のような波形の高周波が給電部から誘導結合型電極に供給される。ここで、変調する信号波としては、例えば、sin波(図3(a))、矩形波、三角波の他、パルスのように出力を所定期間完全に遮断する波形のもの(図3(b))、及びこれらを重畳させた波形のもの(図3(c))等、どのような波形のものであっても良い。

【0018】次に、本発明の薄膜形成方法を図1を参照して説明する。まず、成膜室1を高真空に排気した後、基板12をヒータ(不図示)で所定温度に加熱する。次いで、堆積用の反応ガスを所定の流量で成膜室に導入して、排気口7部に設けられたメインバルブにより所定の

圧力に設定する。高周波電源9、波形発生器8のスイッチを入れ、所定の信号波で高周波をAM変調するとともに、給電部等に設置された波形モニタ（不図示）を見ながら隣り合う電極の給電部の位相を180度ずらすようにフェーズシフタで調整して、高周波電力を各誘導結合型電極2に投入すると、電極周辺に均一密度のプラズマが発生し、反応性ガスは分解、活性化等され、基板12上に膜厚均一性に優れた薄膜を形成することができる。

【0019】ここで、高周波のAM変調条件及び位相により膜厚分布が変化する様子を具体例を挙げて説明する。図4は、以下に示す成膜条件でa-Si膜を形成し、電極長手方向に測定した膜厚分布を示すグラフである。図4(a)～(c)は、異なる周波数でパルス変調し、かつ、隣り合う電極に互いに逆位相の高周波電力を供給したとき得られた膜厚分布である。一方、図4

(d)、(e)は各電極に同位相の電力を供給し、300Hzのパルス変調（図4(d)）及び変調なしの連続放電（図4(e)）の場合に得られた膜厚分布である。

（成膜条件）

電極：U字型電極（10mm径）8本

給電部（接地部）－ 折り返し部距離 1.35m

基板：1.0m×0.5m

高周波：81MHz 25W（1本あたり）

AM変調：パルス周波数100, 300, 500Hz

デューティ比50%

ガス：SiH<sub>4</sub> 300sccm、5Pa

【0020】各電極に同位相の高周波を投入した場合は、図4に示すように、給電部側で膜厚が大きく、折り返し部に向かって減少した後、増加して極大をとって再び減少する膜厚分布となった。このような膜厚分布は、電極の長さ（1.35m）に近い大型基板（1m）を用いて同位相の高周波を供給する場合に観測される。これに対し、隣り合う電極間で互いに逆位相の高周波を供給した場合は、同位相の場合に比べて、全体として平坦化した分布が得られることが分かる。また、パルス変調を行いその周波数を変化させることにより、電極の給電部側と先端側とで相対的な膜厚比が変化する傾向が見られることが分かる。以上から明かなように、複数のU字型電極を配置し、隣り合う電極の給電部に互いに逆位相の高周波を給電し、さらにAM変調条件を適正に選択することにより、種々の成膜条件でプラズマ密度を均一化することができ、1m級さらにはそれ以上の大型基板であっても、膜厚均一性に優れた薄膜を形成することが可能となる。

【0021】図4の具体例では、AM変調としてパルス変調を用い、その周波数を変化させたときの効果を示したが、変調周波数以外に変調度、デューティ比等の他の変調パラメータを用いても同様の効果を得ることができる。従って、圧力、高周波電力等の成膜条件に応じて変調パラメータを適宜選択することにより、どのような成

膜条件においても、大型基板での膜厚均一化を達成することが可能となる。なお、参考のため、種々の変調パラメータによって膜厚分布が変化する様子を、直線状電極を用いて行った実験により説明する。この実験では、図6の模式図に示す薄膜形成装置を用いた。ここで、電極には、外径10mm、長さ1.6mの棒状電極を用い、これを8本各電極中心軸間距離が32.5mmとなるように配置した。また、電極・基板間距離は50mmとした。成膜室1に基板（長さ500mm）12を配置し、200℃に加熱し、SiH<sub>4</sub>ガスを300sccm導入して、圧力を5Paに設定した。種々の条件で変調した高周波電力を電極に供給してプラズマを発生させ、基板上にa-Si薄膜を形成した。なお、高周波の周波数は80MHz、投入電力は3.1W（電極1本あたり）とし、各電極の給電部の位相は同位相とした。変調条件によるプラズマ明暗形状の変化を目視観察するとともに、形成したa-Si膜の膜厚分布を測定した。その結果の一例を図7、8に示す。

【0022】図7(a)は、なんら変調をかけずに高周波を給電して（連続放電）、薄膜を形成したときの電極方向の膜厚分布を示すグラフである。なお、電極中心点とは、グラフの250mmの位置に対応する。図7

(b)、(c)及び図8(a)、(b)は、AM変調の変調度、周波数、デューティ比（パルス変調）を変化させてa-Si薄膜を形成したときの膜厚分布である。AM変調をかけずに高周波電力を電極に給電した場合は、電極の給電部側で明るく、接地部で暗くなるプラズマ形状が観測され、膜厚分布も、図7(a)に示すように、給電側で厚くなり先端ほど薄くなった。これに対し、AM変調した高周波を給電した場合は、そのプラズマ形状は変化し、膜厚分布も図7(b)、(c)及び図8(a)、(b)に示すように、変化した。例えば、変調度30%、変調周波数1kHzの高周波を給電した場合（図7(b)）は、給電部側のプラズマが連続放電の場合に比べて暗くなり、膜厚分布もこのプラズマの状態に対応して変化することが分かった。

【0023】図に示すような実験結果から、AM変調の変調度を増加させると、給電側でプラズマ密度は低下し、変調周波数を増加させると、給電側でプラズマ密度が低下し同時に接地部側でプラズマ密度が増加することが分かった。さらにデューティ比（パルス変調）を増加させると給電側でプラズマ密度が増加する等、変調条件を適宜調節することにより、電極に沿ってプラズマ密度分布、そして形成される膜厚分布が変化することが明らかになった。逆に、これらのパラメータを調節することにより、所望の分布のプラズマを発生させ、所望の膜厚均一性を有する薄膜を形成することができる。

【0024】図8(c)は、プラズマ密度を電極に沿って均一にすべく、変調条件を調節して、図3(c)に示すように、高周波電力を投入する期間と遮断する期間と

を設けた波形の高周波電力を給電して、 $a-Si$ 膜を形成したときの膜厚分布である。すなわち、図6の装置構成では、1kHzのAM変調にさらにパルス変調を重ねさせることにより、極めて膜厚均一性に優れた $a-Si$ 膜を得ることができることが分かる。

【0025】一方、プラズマ密度の分布は、高周波電力、圧力等の成膜条件により変動することが分かっている。従って、従来の薄膜形成装置では、ある条件では膜厚均一性の高い膜は得られるが、例えば、高品質膜が得られる成膜条件では、均一な膜厚が得られないという問題がある。しかし、上記したように、AM変調を適正化することによりどのような成膜条件であっても、それに起因するプラズマ密度分布変化を修正し、膜厚均一性に優れた薄膜を形成することができる。例えば、高速成膜するために高周波電力を増加させると、給電部側のプラズマ密度が接地部側に比べ相対的に高くなるが、この場合、例えば、AM変調度の増加、変調周波数の増加、パルス変調の場合デューティ比の低下のいずれかあるいはこれらの組み合わせにより、プラズマ密度を電極に沿って均一化することができる。また、膜質、成膜速度の観点から、圧力を高くすると、給電側のプラズマ密度が相対的に低くなるため、逆の操作を行えばよいことになる。以上述べたように、AM変調の変調度、変調周波数、デューティ比のいずれか、若しくはこれらの組み合わせることにより、どのような成膜条件であっても、均一膜厚の薄膜を形成することが可能となる。

【0026】なお、以上の薄膜形成方法においては、成膜条件に対し予め最適化された変調条件でAM変調された高周波電力を電極に供給して、薄膜を形成しても良いが、プラズマの状態を観察しながら変調条件を変更しても良い。また、プラズマ密度が分布した状態であっても、最終的に基板全体で均一な膜厚が得られるように、薄膜形成中に変調条件を変更しても良い。この場合、AM変調の変調周波数若しくはパルスのデューティ比を変化させるのが好ましい。このような成膜方法により、例えば、膜厚方向に膜質等の異なる膜を形成することも可能である。

【0027】図1に示す薄膜形成方法及び装置は、1枚の基板に薄膜を形成する方法及び装置であるが、本発明の薄膜形成装置は、図5に示すように、基板幅に配列した電極列を、さらに所定の間隔を開けて複数列配置した構造とし、各電極の両側に基板を配置する多領域成膜方式とするのが好ましい。このような構成とすることにより、多数の基板(図の例では、6枚)上に同時に薄膜を形成することが可能となり、スループットを大幅に上げることができる。しかも、電極と基板間距離は、30~60mm程度とできるため、小さな空間で多数の基板の同時成膜ができることから、装置設置面積に対するスループット比の優れた薄膜形成装置を実現することができる。

【0028】以上、本発明の薄膜形成装置及び方法を、主に $a-Si$ 膜に適用する場合について述べてきたが、本発明は、 $a-Si$ 膜に限らず、反応性ガスを適宜選択することにより、種々の薄膜形成に適用できることはいうまでもない。また、以上述べてきた薄膜形成方法及び薄膜形成装置を用い、各電極に供給する高周波電力を隣り合う電極で互いに逆位相とし、さらにAM変調することにより、高品質半導体薄膜の高速成膜が可能となり、しかも膜厚均一性に優れているため、大型基板の太陽電池の製造に好適に用いられる。また、前述した多領域成膜方式を採用することにより、装置の大型化を招くことなく、多数の基板に同時成膜することが可能となるため、スループットの高い成膜が可能となり、太陽電池を普及させるために最大の課題であるコストダウンを図ることができる。本発明において、太陽電池構成はpin構造、pn構造、または、これらを積層したタンデム構造のいずれでも良く、これらp層、i層、n層の形成に本発明の薄膜形成方法及び形成装置が用いられる。

#### 【0029】

【発明の効果】以上説明してきたように、本発明の薄膜形成方法及び薄膜形成装置により、大型基板に、膜厚均一性に優れた薄膜を形成することが可能となる。しかも、装置設置面積に対するスループット比の高い薄膜形成装置を提供することが可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の薄膜形成装置の一例を示す模式図である。

【図2】本発明の高周波電力の供給系の他の例を示す模式図である。

【図3】AM変調した高周波の波形を示す概念図である。

【図4】変調条件、高周波電力の位相と膜厚分布との関係を示すグラフである。

【図5】本発明の高スループット薄膜形成装置の一例を示す模式図である。

【図6】AM変調の実験で用いた装置の構造を示すで模式図ある。

【図7】変調条件と膜厚分布の関係を示すグラフである。

【図8】変調条件と膜厚分布の関係を示すグラフである。

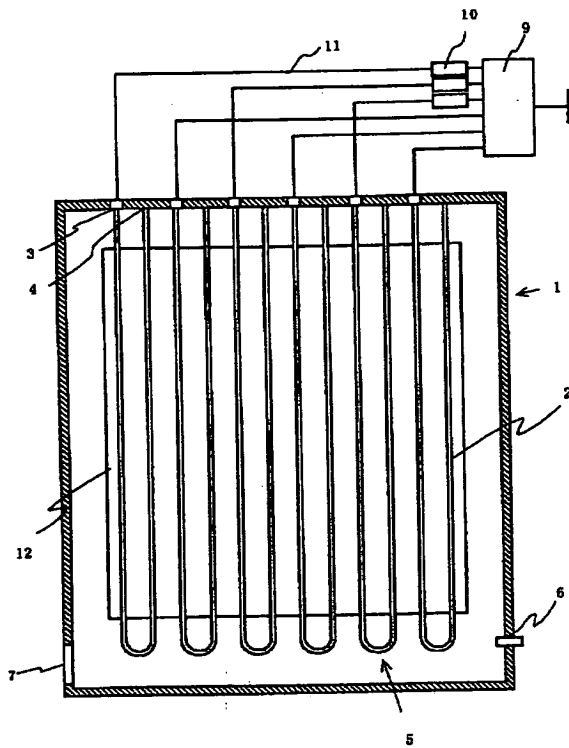
#### 【符号の説明】

- 1 成膜室、
- 2 誘導結合型電極、
- 3 給電部。
- 4 接地部、
- 5 折り返し部、
- 6 ガス導入口、
- 7 排気口、
- 8 波形発生器、

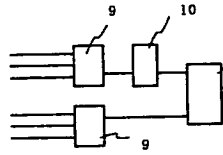
- 9 高周波電源、  
10 フェーズシフタ、  
11 同軸ケーブル、

- 12 基板、  
13 基板ホルダー。

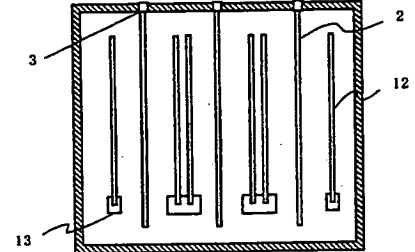
【図1】



【図2】

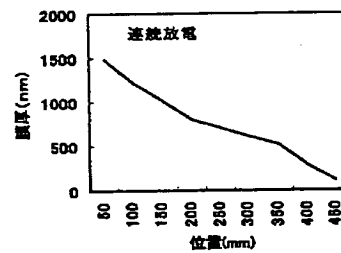


【図5】

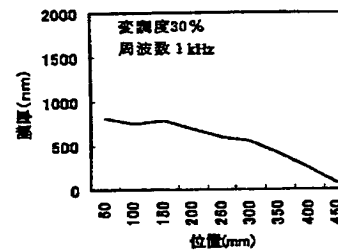


【図7】

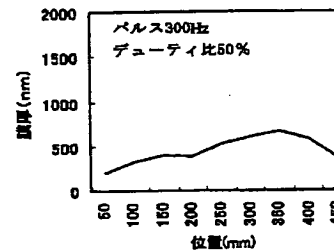
(a)



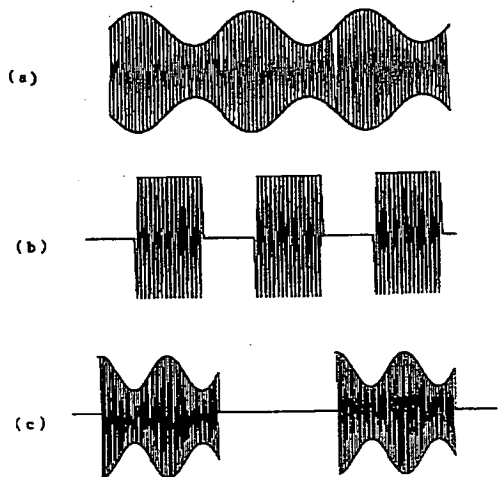
(b)



(c)

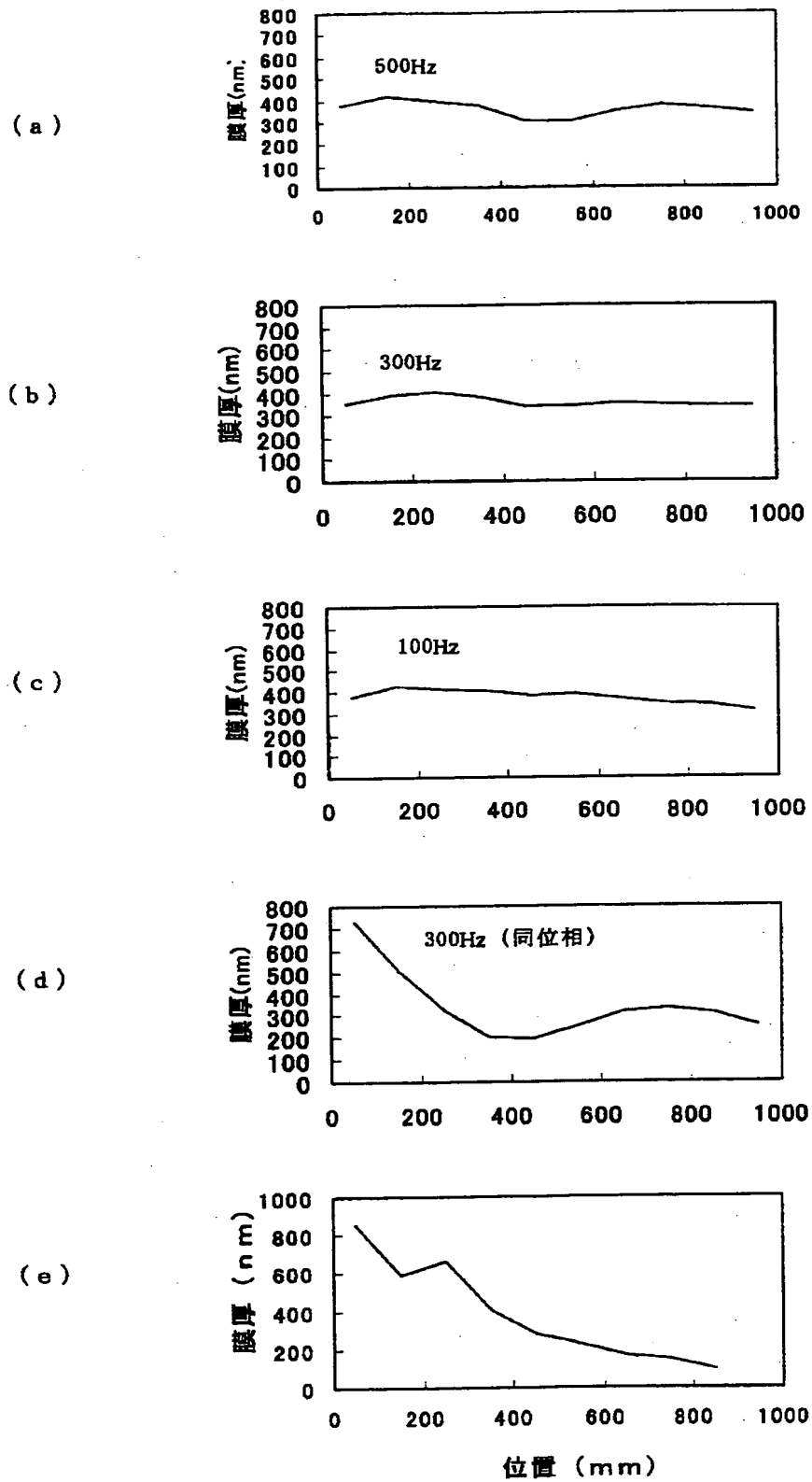


【図3】

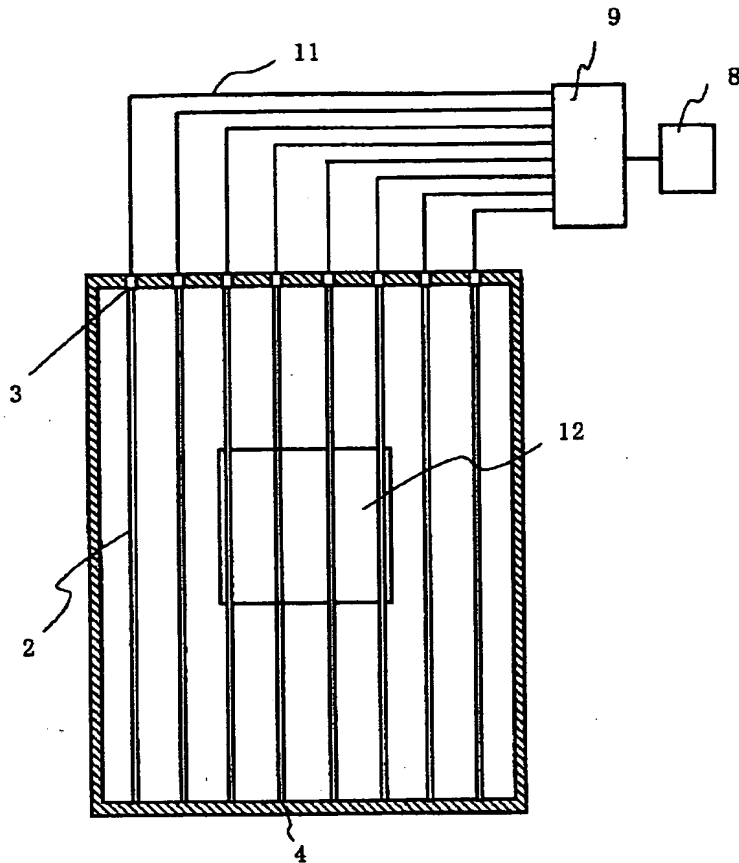




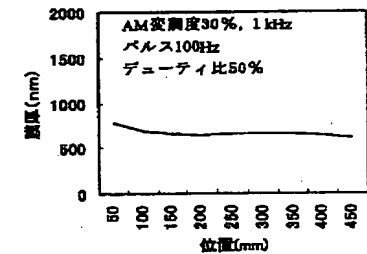
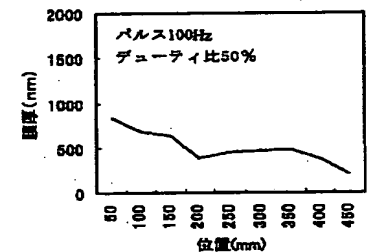
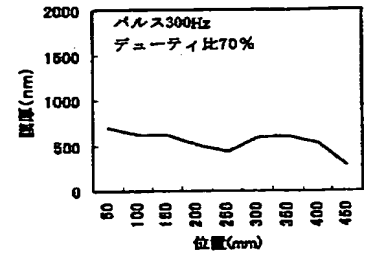
【図 4】



【図6】



【図8】



フロントページの続き

(71)出願人 500132638  
松田 彰久  
茨城県つくば市梅園1丁目1番1中央第2  
独立行政法人産業技術総合研究所内

(71)出願人 500132649  
近藤 道雄  
茨城県つくば市梅園1丁目1番1中央第2  
独立行政法人産業技術総合研究所内

(74)上記2名の代理人 100111051  
弁理士 中西 次郎

(72)発明者 伊藤 憲和  
東京都府中市四谷5丁目8番1号 アネル  
バ株式会社内

(72)発明者 渡部 嘉  
東京都府中市四谷5丁目8番1号 アネル  
バ株式会社内

(72)発明者 松田 彰久  
茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技  
術院電子技術総合研究所内

(72)発明者 近藤 道雄  
茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技  
術院電子技術総合研究所内

Fターム(参考) 4K030 AA06 BA40 FA04 KA15 KA30  
LA11  
5F045 AA08 AB04 AC01 AD06 AE17  
BB02 BB08 CA13 DA52 EH04  
EH11 EH20  
5F051 AA05 BA12 BA14 CA16 CA23  
CA34 DA03 DA04 DA15